

Comment vieillissent les géofiltres ? Auscultation du dispositif expérimental de Roissard

Les risques liés au vieillissement des géotextiles-filtres utilisés dans les ouvrages de drainage sont un enjeu majeur pour l'ingénierie des glissements de terrain et des ouvrages hydrauliques. Le projet DrainAgeing vise à mieux comprendre les phénomènes de vieillissement par colmatage de ces matériaux afin de mieux les prévenir et de formuler des recommandations pour les concepteurs et gestionnaires d'ouvrages.

Objectif général et justifications du projet DrainAgeing

Le projet DrainAgeing, piloté conjointement par Irstea et le Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (LTHE), vise à étudier le vieillissement par colmatage de géosynthétiques-filtres utilisés dans les ouvrages de drainage, par l'intermédiaire d'un suivi d'auscultation et de plusieurs campagnes d'investigations réalisés sur le dispositif expérimental de tranchées drainantes de Roissard, construit il y a dix-huit ans en Isère (Trièves) avec le soutien du Pôle grenoblois d'étude et de recherches pour la prévention des risques naturels.

Le principal enjeu du projet est de mieux connaître les conditions dans lesquelles des phénomènes de colmatage peuvent se produire, d'en déduire les dispositions constructives permettant de les prévenir, et par là d'assurer la durabilité d'ouvrages de drainage, utilisés soit dans la lutte contre les glissements de terrain, soit pour la protection-filtration d'ouvrages hydrauliques.

Justification dans le cadre de la lutte contre les glissements de terrain

La région céréalière du Trièves dans le sud du département de l'Isère s'étend sur le site d'un ancien lac glaciaire dans lequel s'est déposé au Quaternaire (Würm) un important gisement d'argiles litées dont la puissance atteint 250 m par endroits. Ces terrains, très peu perméables, aux caractéristiques mécaniques extrêmement médiocres en présence d'eau et aujourd'hui subaffleurants, sont le siège de glissements de terrain plus ou moins actifs et aux conséquences souvent désastreuses pour le bâti ou les voies de communication routières ou ferroviaires. C'est ainsi que de

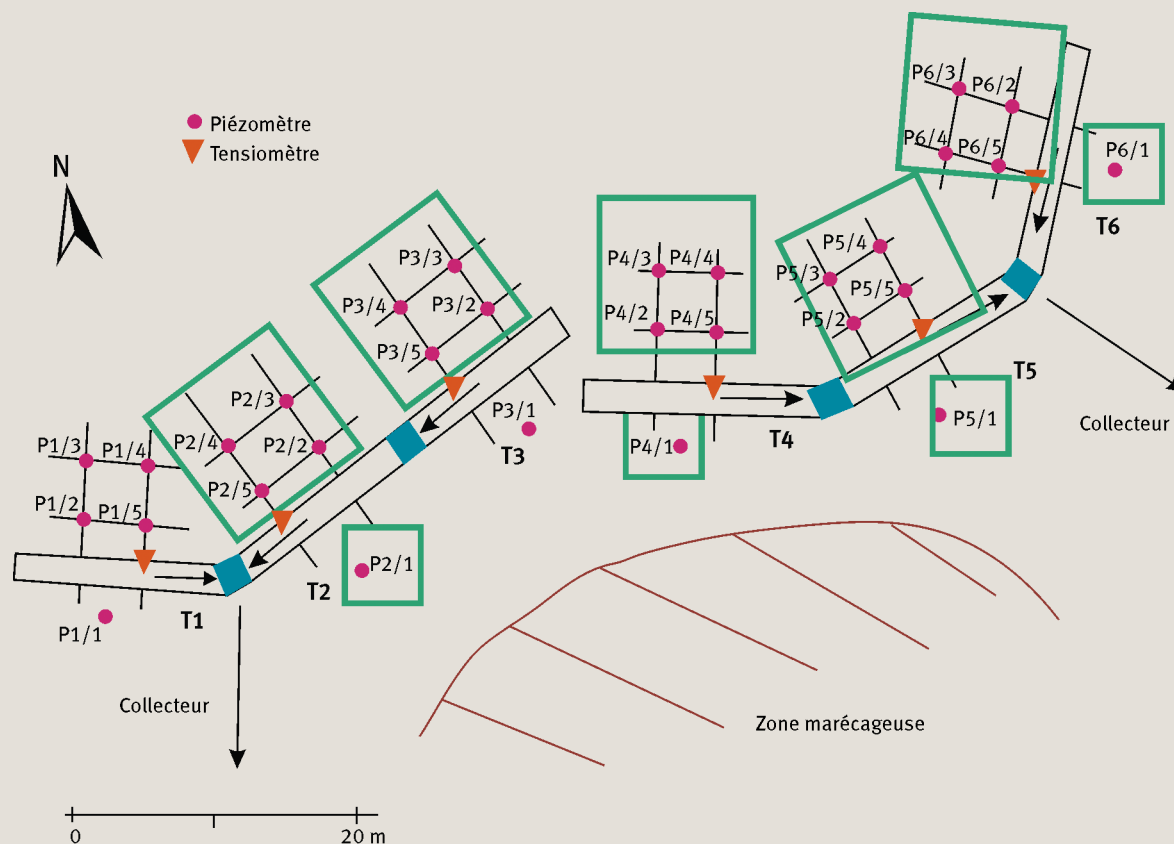
20 à 50 % de ce territoire sont exposés à des mouvements de terrain déclarés ou potentiels.

La lutte contre ces glissements passe par la création de tranchées drainantes en épis dans les zones à enjeux, afin d'abaisser la ligne de saturation dans les horizons argileux de subsurface (profondeur inférieure à 5 m) et de stabiliser les mouvements de terrain superficiels, en général les plus actifs. C'est ainsi que plusieurs kilomètres d'ouvrages drainants sont construits annuellement dans les montagnes françaises.

Ces ouvrages – remplis en général de gravette calibrée propre, à perméabilité très élevée – doivent drainer bien sûr, mais aussi filtrer le sol argileux à drainer afin d'en prévenir l'érosion et de ne pas se colmater. Compte tenu du fort contraste de perméabilité (et de granulométrie) entre le matériau de la tranchée drainante et les argiles à drainer, les concepteurs choisissent, dans la grande majorité des cas, un géotextile, d'ouverture de filtration adaptée, pour assurer la fonction de filtre. Celui-ci est posé à la périphérie de la tranchée drainante lors de son creusement mais avant son remblaiement. Cette opération est particulièrement délicate car la fouille provisoire, difficile à étayer dans de telles conditions, est alors très instable et nécessite des précautions de chantier afin de ne pas exposer le personnel et d'éviter l'éboulement des parois qui ruine l'ouvrage.

Or, divers témoignages ou retours d'expérience relatent des cas de colmatage plus ou moins avérés et/ou naissants de géotextiles filtres utilisés à une telle fin, au bout de quelques années de service et en dépit d'un dimensionnement initial semble-t-il respectueux des règles de filtre.

① Vue en plan du dispositif d'auscultation, avec en encadrés les piézomètres retrouvés en 2008.



Justification pour l'ingénierie des ouvrages hydrauliques

D'une façon générale, dans l'important parc français des ouvrages hydrauliques en remblai (terre ou enrochements), les dispositifs de drainage-filtration forment les derniers remparts face à un mécanisme de rupture particulièrement redouté et sournois : celui de l'érosion interne. La durabilité des drains et autres tapis drainants, très souvent filtrés par des géosynthétiques (Degoutte et Fry, 2002), est ici d'autant plus importante que ces dispositifs sont implantés au cœur des remblais des barrages ou des digues et se révèlent quasiment impossibles à réparer une fois construits.

Dans ce domaine d'application aussi, des incertitudes subsistent toujours aujourd'hui sur les risques de colmatage à moyen ou long terme des drains, en dépit de quelques opérations ponctuelles de démantèlement *in situ*, prélèvements et analyses de géotextiles-filtres (Faure *et al.*, 1999), (Testemale *et al.*, 1999), toujours délicates à réaliser sur des ouvrages en exploitation.

Plusieurs volets du projet national de recherche ERINOH (2008-2012) sur l'érosion interne dans les ouvrages hydrauliques s'intéressent à cette question, et le site expérimental de tranchées drainantes de Roissard en est devenu l'une des plateformes d'expérimentation.

Description du dispositif expérimental de tranchées drainantes de Roissard

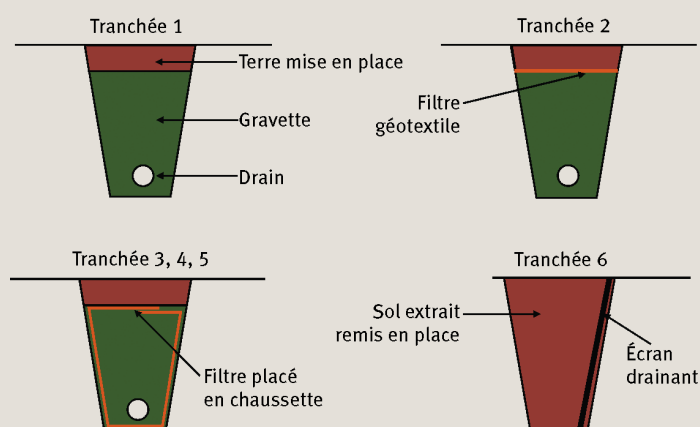
Ce dispositif a été créé en septembre 1993 sur un terrain à pente homogène douce (5 %) en bordure d'une prairie, sis sur le territoire communal de Roissard dans l'Isère

(Faure *et al.*, 1994 ; Faure *et al.*, 1996). Les argiles litées sont subaffleurançantes sur le site qui s'étend en périphérie amont d'une zone marécageuse, drainée par deux ruisseaux (figure ①).

Il comprend six tranchées drainantes de 2 à 2,5 m de profondeur, numérotées T1 à T6 et aménagées comme suit (figure ② et tableau ①) :

- une tranchée T1 – dite témoin – dépourvue de dispositif-filtre, c'est-à-dire simplement remblayée de gravette calibrée 30/60 après son creusement, puis recouverte d'une couche de 40 cm de terre végétale ;
- la tranchée T2 équipée d'un géotextile nontissé aiguilleté de 130 g/m² de masse surfacique et de 140 µm

② Vues en coupe des tranchées drainantes.



① Caractéristiques physiques des géosynthétiques des tranchées drainantes.

N° de la tranchée	Structure	Notation LTHE	Masse surfacique (g/m ²)	Épaisseur (mm)	Ouverture de filtration (µm)	Permittivité (S ⁻¹)
1	Sans géotextile					
2	Nontissé aiguilleté	BD 130	130	1,6	140	4,6
3	Nontissé aiguilleté	BD 130	130	1,6	140	4,6
4	Tissé de bandelettes	PX 190	190	0,7	110	0,12
5	Tissé de monofilament	HT 200	200		1 000	
6	Géocomposite drainant	HD 233	Filtre : 233	Filtre : 1,9 Géocomposite : 27,2	Filtre : 100	Filtre : 2,98

d'ouverture de filtration (Of), disposé uniquement sur sa face supérieure horizontale (sous la couche de terre végétale) ;

- la tranchée T3 dotée du même géotextile-filtre que T2 mais installé – comme classiquement dans les drains opérationnels – sur toute la périphérie de la tranchée drainante ;
- la tranchée T4 équipée sur toute sa périphérie d'un géotextile tissé de bandelettes de 190 g/m² et de 110 µm d'ouverture de filtration ;
- la tranchée T5 équipée, sur toute sa périphérie (comme T3 et T4), d'un géotextile tissé de mono-filaments de 200 g/m², dont l'ouverture de filtration est de l'ordre du millimètre ;
- la tranchée T6 creusée avec la même forme trapézoïdale, mais équipée d'un géocomposite drainant à picots en polypropylène de 3 cm d'épaisseur entouré par un géotextile nontissé aiguilleté de 233 g/m² et de 100 µm d'ouverture de filtration. Ce complexe filtrant et drainant a été installé contre la paroi amont de la tranchée, avant remblaiement par les terres extraites.

Les tranchées font 12 m de longueur et comportent en fond, sauf pour la tranchée T6, un drain de diamètre 160 mm de type autoroutier, à cunette sans fente, destiné – comme dans les ouvrages couramment réalisés à l'époque – à collecter les débits interceptés par le drain et à les écouler vers l'aval sans qu'ils puissent se réinfiltrer dans le terrain. Les argiles litées en place ont été rencontrées vers 90 cm de profondeur, sous une couche de 20 à 30 cm de terre végétale et de 60 à 70 cm d'argile remaniée homogène.

Un dispositif approprié de collecteurs et de bacs décanteurs et filtreurs permet, depuis le fond de quatre regards de visite, le jaugeage individuel des six débits de drainage ainsi que la récolte du transport solide des eaux de drainage. La piézométrie de part et d'autre de chaque tranchée est suivie par cinq tubes piézométriques de 2 m de profondeur, complétés par un profil tensiométrique à cinq points de mesure installé près du bord amont du drain (figure ①). La pluviométrie journalière est fournie par la station météorologique voisine de Roissard.

Suivi du dispositif et mesures d'auscultation
sur les périodes 1993-1999 et 2008-2010

Mesures de septembre 1993 à mai 1999

Analyse faite en 1999

Sur la période 1993-1999, les jaugeages de débit de drainage et les mesures piézométriques ont été effectués une fois par mois et les mesures pondérales de transport solide une fois tous les deux mois, sous la direction du Laboratoire interdisciplinaire de recherche impliquant la géologie et la mécanique (intégré au LTHE en 2007).

Les principaux résultats de ces mesures peuvent se récapituler comme suit, d'après Faure (2004) :

- les variations de débit de drainage sont essentiellement saisonnières avec, par exemple pour la tranchée T2, des minima à 5 l/min en fin d'été et des maxima à 45 l/min en hiver ou début de printemps, où la nappe phréatique est haute ;
- les tranchées T3, T4 et T5 ont un débit moyen de l'ordre de 6 l/min, T1 de 0,8 l/min et T2 de 19 l/min (figure ②) ;
- les piézomètres proches des tranchées suivent les mêmes variations saisonnières ;
- les diamètres maximaux des particules récoltées dans les bacs des tranchées T3 à T5 sont cohérents avec les ouvertures de filtration des géotextiles qui les isolent ;
- les masses de sol collecté sont les plus faibles avec les tranchées équipées d'un géotextile nontissé (T3 et T6), mais au regard des observations faites dans les drains par vidéo-caméra en 2009, ces valeurs ne reflètent pas les quantités de particules qui ont filtré au travers des géotextiles ou des graviers : la masse collectée dépend du débit dans le drain et du dépôt le long de la cunette ;
- les mesures tensiométriques confirment l'existence d'une forte anisotropie horizontale de perméabilité du sol. Les écoulements dans les argiles litées s'effectuent à la faveur de cheminements préférentiels (fissures, lits silteux...) qui leur confèrent une perméabilité apparente d'ensemble de 10⁻⁵ m/s, étonnamment élevée pour un matériau argileux.

Nouvelle analyse faite en 2010 avec le logiciel SURVEY d'Irstea

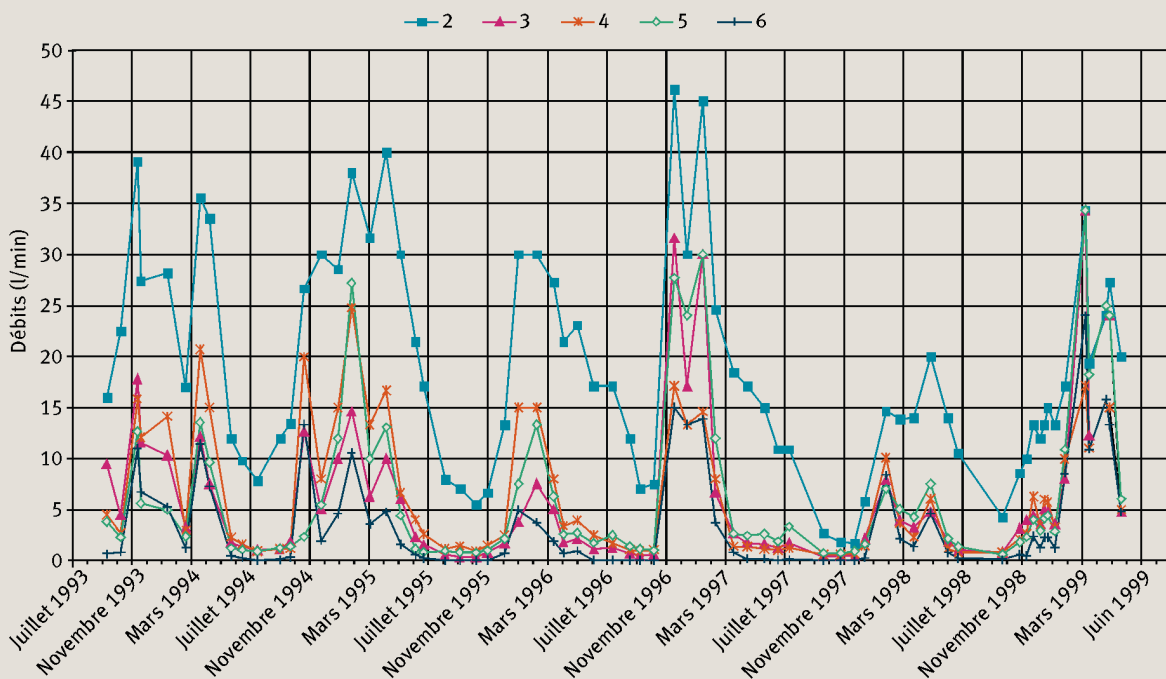
Le logiciel d'analyse statistique SURVEY a été mis en œuvre, à titre expérimental en 2010 (Chouchene, 2010), sur les chroniques de mesures des débits de drainage de septembre 1993 à mai 1999.

Ce logiciel, utilisé habituellement pour l'analyse statistique des mesures d'auscultation des barrages (Bonelli, 2001), permet de construire un modèle statistique des

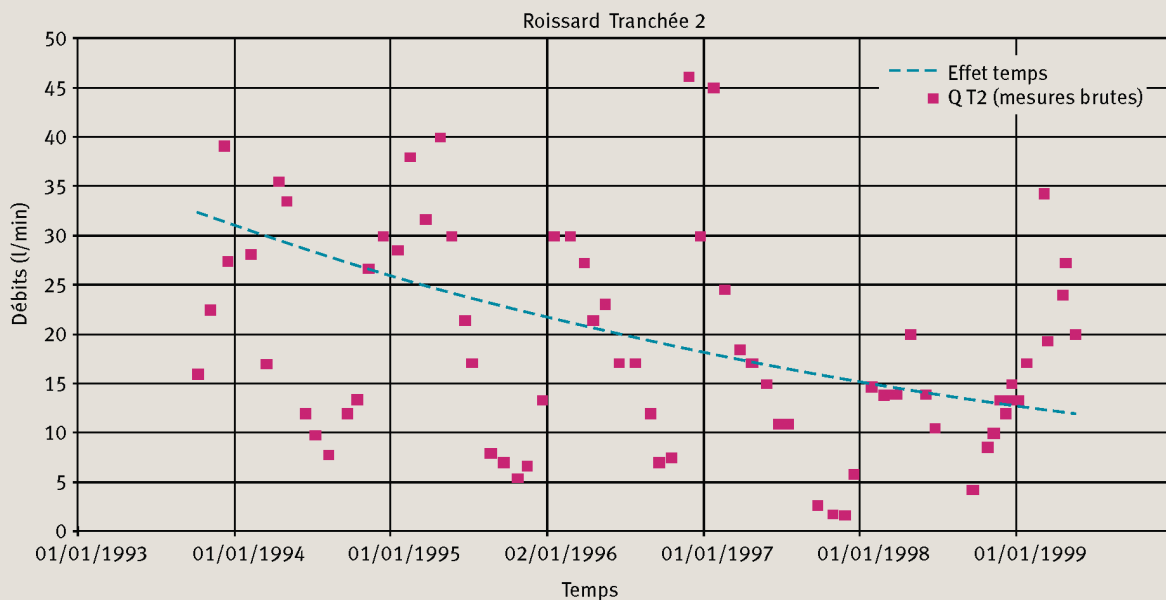
mesures – considérées comme les variables à expliquer – intégrant quatre principales variables explicatives : la cote du plan d'eau (assimilée ici au niveau d'eau d'un des piézomètres amont), la saison (date dans l'année), la pluviométrie antérieure aux mesures et le temps.

Pour la tranchée 2, le coefficient de détermination de la qualité de l'ajustement statistique est satisfaisant (coefficient « R2 » proche de 0,8, étant entendu que 1 constitue la valeur optimale). La variation du débit est expliquée à 17 % par la variation du piézomètre référent, à 32 %

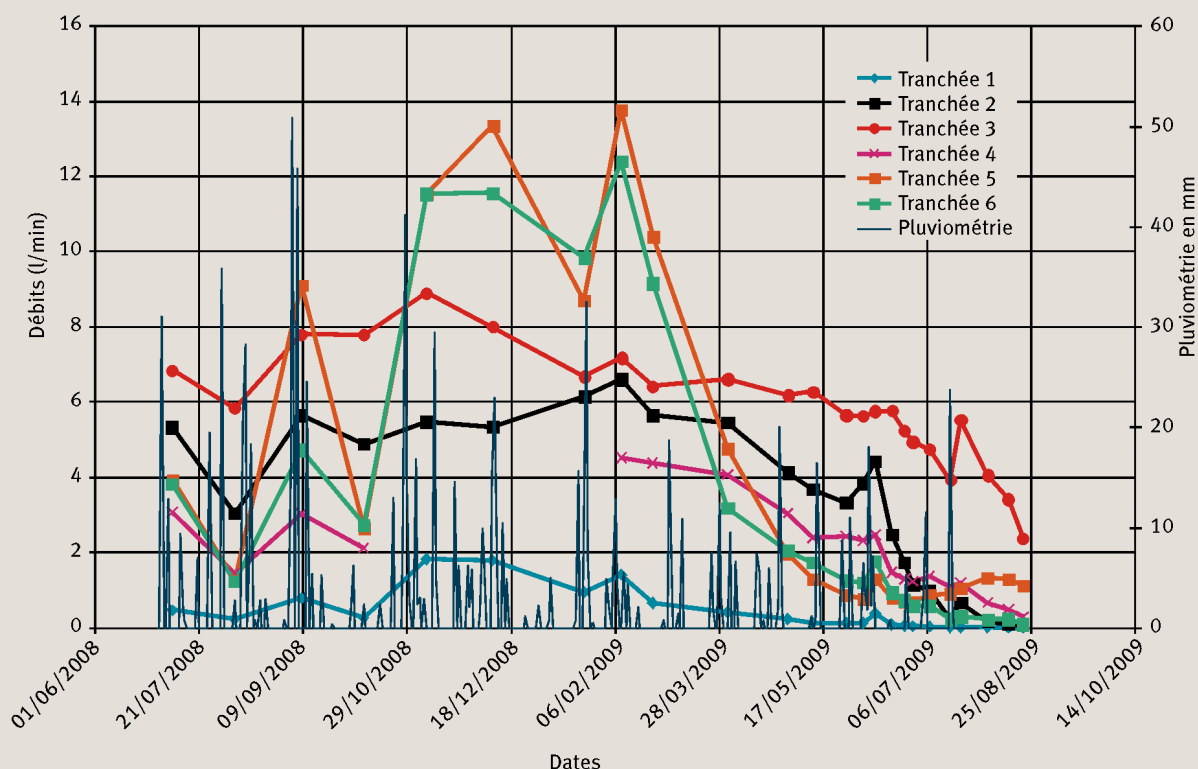
3 Débits mesurés pour les tranchées 2 à 6 de 1993 à 1999.



4 Illustration par SURVEY de la diminution avec le temps du débit de la tranchée T2 (de l'ordre de 20 l/min en six ans).



5 Débits des tranchées et pluviométrie journalière, sur la période juin 2008 à août 2009 (Verstaevel *et al.*, 2010).



▶ par la pluviométrie, à 38 % par les effets saisonniers et à 13 % par le temps (variation irréversible ou dérive).

L'analyse à conditions constantes SURVEY montre que la tranchée 2, se singularisant parmi les six tranchées étudiées, présente une forte dérive négative des mesures avec le temps (figure 4), ce qui pourrait résulter de son colmatage.

Reprise des mesures en 2008 et remise en état du dispositif

Lors d'une visite du site de Roissard au printemps 2008, les collecteurs pour le jaugeage des débits de drainage étaient apparus opérationnels, ce qui a permis, dès le mois de juillet, de reprendre des mesures à une cadence mensuelle, sous-traitées à la Régie ONF-RTM. Par contre, les six bacs qui filtrent, dans les quatre regards, les transports solides des eaux drainées étaient complètement obstrués par des concrétions de calcite et, dans un premier temps, seulement trois piézomètres de contrôle étaient retrouvés dans l'environnement des tranchées.

Au début du printemps suivant, après quelques jours de recherche et à l'appui d'une campagne topographique (Verstaevel *et al.*, 2010), on a retrouvé et remis en service vingt-quatre des trente piézomètres du site (figure 1). Les bacs décanteurs et filtreurs ont été eux aussi réparés ou changés. Aussi, à partir du mois de mai 2009, le jaugeage des débits et les relevés piézométriques ont été effectués avec une cadence hebdomadaire, alors que les extractions de sol dans les bacs de récupération étaient réalisées mensuellement.

Interprétation des mesures 2008-2009 - comparaison avec les mesures antérieures

Notre analyse ne porte que sur quelques mois de mesures récentes. Aussi, convient-il d'être prudent sur leur interprétation et leur comparaison avec la période plus ancienne de mesures (1993-1999).

Les principales conclusions que l'on pouvait formuler à la fin 2009 s'énumèrent comme suit :

- les débits courants moyens des tranchées sont compris entre 3 et 6 l/min (abstraction faite de la tranchée T1 dont le débit est inférieur à 1 l/min depuis l'origine et qui, de ce fait, a cédé sa place de « tranchée témoin » - sans géotextile en chaussette - à la tranchée T2) ;
- les débits moyens des tranchées T3 et T6 paraissent remarquablement stables par rapport à la période 1994-1999 : respectivement, 6 et 3,5 l/min. Par contre, le débit moyen de la tranchée T2, la plus débitante du dispositif à l'origine (plus de 15 l/min), est tombé à 3 l/min : d'où la question : « est-elle en train de se colmater ? ».
- les débits de drainage atteignent classiquement leur maxima en période hivernale (avec, pour l'hiver 2008-2009, une plus forte réaction des tranchées T5 et T6) et les sols semblent s'être plus asséchés lors de l'été 2009 qu'en été 2008 (figure 5) ;
- les piézomètres remis en état sont fonctionnels et leurs niveaux suivent les mêmes variations saisonnières que les débits des tranchées. Les profils transversaux confirment les rabattements de ligne piézométrique résultant de l'effet des tranchées drainantes.

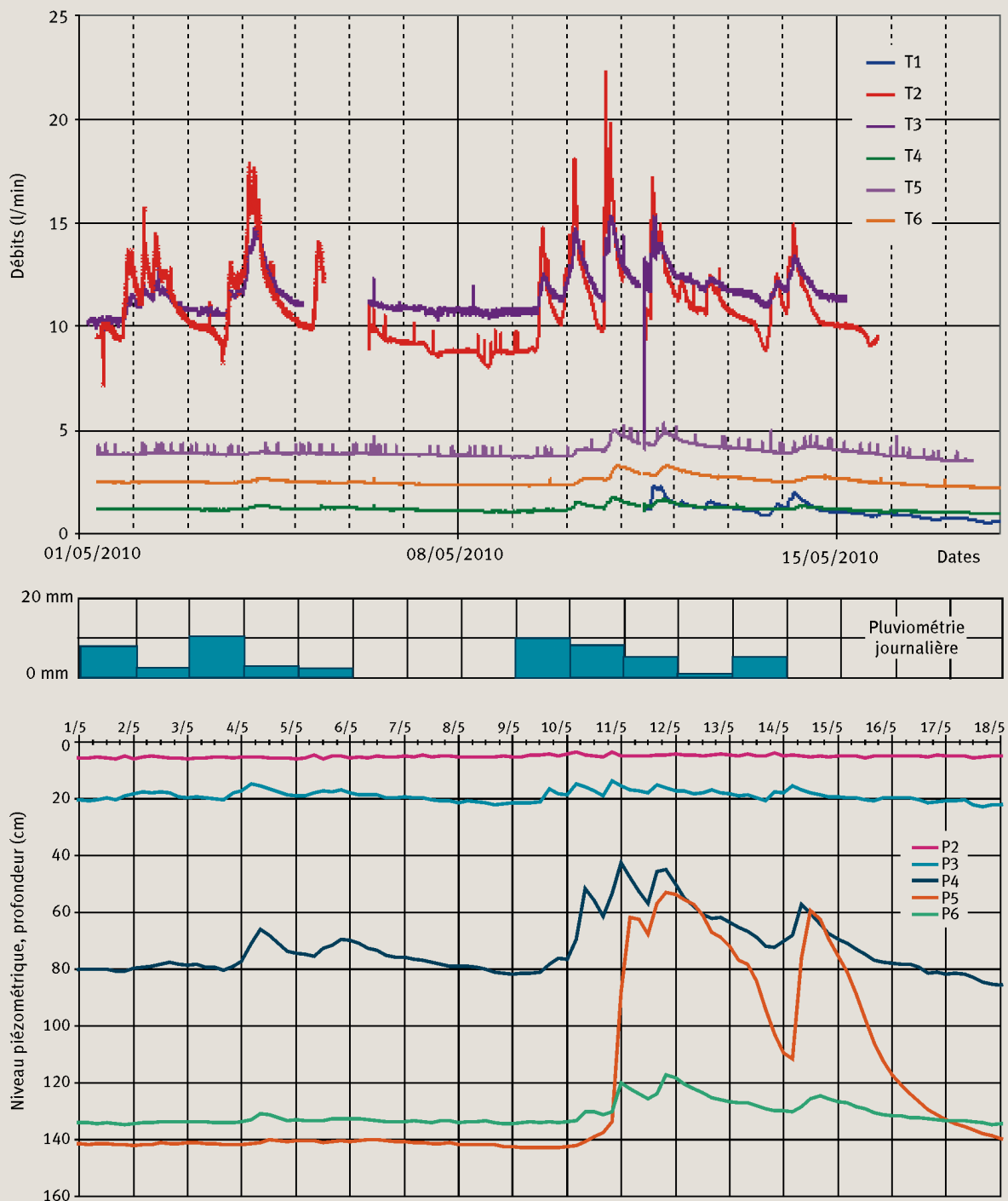
Travaux 2010 d'automatisation partielle de l'acquisition des mesures : résultats et suites

Au cours de l'année 2009 et dans le cadre de la phase 1 du projet DrainAgeing, un dispositif de suivi automatique des niveaux piézométriques dans le sol et des débits dans les tranchées a été mis en place.

Débitmètres

Le LTHE a conçu et réalisé des débitmètres à augets adaptés à la gamme des débits précédemment mesurés sur le site (photo 1a). Le principe est basé sur le comptage des basculements des augets lorsqu'ils sont remplis. Des panneaux solaires ont été mis en place pour recharger les batteries qui alimentent le système (photo 1b).

6 Variation infra-journalière des débits des tranchées (en haut) et des niveaux piézométriques relevés dans les piézomètres « référents » (en bas), en fonction de la pluviométrie journalière – période du 1^{er} mai au 17 mai 2010. Effets « retard » et variations infra-journalières.





1 Regard 1 : débitmètre à auget mis en place (a) et panneau solaire extérieur (b).

► Réalisés à l'automne 2009, les six débitmètres ont été testés au laboratoire et descendus dans les regards en mars 2010. Les principales difficultés rencontrées ont été les suivantes :

- mise en œuvre dans des conditions difficiles : espace exigus, arrivées d'eau continues, hauteurs sous drain limitées, ajustement horizontal des platines supports ;
- chocs répétés et vibrations fortes sur les différentes parties (soudures, articulations, fixations) ;
- fréquences de basculements élevées lors des gros débits qui réduisent la durée de l'acquisition.

Leur fonctionnement est perfectible, mais l'acquisition de données à l'échelle de temps inférieure à la journée apporte des informations intéressantes (figure 6) : on observe un effet retard par rapport à la pluie journalière et clairement des variations de débit pendant la journée, comportements évidemment jamais constatés auparavant.

Sondes piézométriques

Les sondes de pression ont été installées début décembre 2009 dans un seul des piézomètres de chaque tranchée, considéré comme « référent ». En effet, au vu des résultats de mesure des années précédentes, il s'est avéré que les niveaux d'eau dans les piézomètres d'une même tranchée variaient sensiblement de la même manière.

Les niveaux piézométriques sont enregistrés toutes les quatre heures et le système a donné toute satisfaction. Les relevés mettent en évidence des comportements nettement différents suivant les tranchées, certaines montrant aussi des fluctuations à la journée avec un effet retard par rapport à la pluie (figure 6).

L'ensemble de ces données a été traité, d'une part pour contrôler la validité des mesures (en particulier celles des débitmètres), d'autre part pour analyser les comportements des tranchées en relation avec la pluvio-métrie

du site. L'objectif était de disposer d'un suivi fin du comportement hydraulique des tranchées pendant une année entière avant leur ouverture et l'exhumation des géotextiles et des graviers, prévues à l'automne 2011 au terme de dix-huit ans de fonctionnement, au titre de la phase 2 du projet DrainAgeing.

Mise en œuvre de la phase 2 du projet DrainAgeing

L'auscultation des tranchées drainantes expérimentales de Roissard met clairement en évidence des comportements hydrauliques différents. On a cherché alors à déterminer si cette différence de comportement était liée à la conception du dispositif de drainage, en particulier au rôle et au choix du géotextile filtre, ou au contexte hydrogéologique et à l'hétérogénéité du site.

Des investigations géophysiques, géotechniques et hydrogéologiques ont donc été menées au printemps 2011 (Barthe, 2011), et, à la fin de la période sèche, le chantier d'ouverture partielle des tranchées s'est déroulé en septembre 2011. À l'appui d'une étude de génie civil préalable, les travaux de réouverture de cinq des six tranchées expérimentales ont été conduits en adoptant les spécifications globales suivantes : solution tout terrassement (pelle mécanique à chenilles de 13 tonnes), avec une ouverture progressive par paliers de 50 cm de profondeur et talutage des parois d'excavation. Cette mise en œuvre précautionneuse a permis d'effectuer des observations et des prélèvements d'échantillons de qualité. Le coût des travaux *sensu stricto* s'est élevé à 25 k€ TTC sur la base d'une ouverture par tranchée, y compris la maîtrise d'œuvre et la remise en état fonctionnel des tranchées et du site.

Le protocole de prélèvements et d'essais de laboratoire établi préalablement (Verstaevel et al., 2010) a été adapté et amélioré pour conduire au final à :

- cinq prélèvements de géotextile (soit un par tranchée) pour essais de perméabilité, d'ouverture de filtration, de capacité de débit (Irstea Antony), et de résistance à la traction (sous-traité) ;
- quarante et un prélèvements de sol (argile litée et remaniée) pour des essais d'identification, de perméabilité et d'érosion interne (HET) (Irstea Aix-en-Provence) ;
- vingt-deux prélèvements de gravette calibrée de remplissage des tranchées T2 à T5 pour des essais granulométriques et sédimentométriques (Irstea Aix-en-Provence) ;
- trois prélèvements intacts par tranchée d'interface sol/géotextile/gravette pour des essais de gradient-ratio sur échantillons non remaniés (LTHE).

Les observations visuelles opérées au cours de ce chantier ont permis de révéler des phénomènes plus ou moins avérés de colmatage partiel des géosynthétiques et des drains. Les essais en laboratoire, en cours de dépouillement et d'analyse, permettront de compléter les divers résultats précédemment obtenus, et d'apporter des éléments objectifs d'appréciation du vieillissement des géofiltres et géomatériaux mis en œuvre sur le site expérimental. À l'issue de ce travail, des recommandations pour les concepteurs et gestionnaires d'ouvrages sur site analogue pourront alors être formulées. ■

Les auteurs

Yves-Henri FAURE

LTHE, Équipe TRANSPORE, BP 53,
38041 Grenoble Cedex 9
yves-henri.faure@ujf-grenoble.fr

Patrice MERIAUX, Guillaume VEYRON et Matthieu BARTHE

Irstea, UR OHAX, Ouvrages hydrauliques et hydrologie,
3275 Route de Cézanne, CS 40061,
13182 Aix-en-Provence Cedex 5
patrice.meriaux@irstea.fr
guillaume.veyron@irstea.fr
matthieu.barthe@irstea.fr

Matthieu VERSTAEVEL

LTHE, Équipe TRANSPORE,
BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9
matthieu.verstaevel@ujf-grenoble.fr

Cécile BERTRAND

ONF, Service départemental RTM de l'Isère,
38026 Grenoble Cedex
cecile.bertrand@onf.fr

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le Commissariat du Massif des Alpes (DATAR/FNADT/CIMA), le conseil général de l'Isère, la SNCF, le Pôle grenoblois d'étude et de recherches pour la prévention des risques naturels et l'IREX / Projet National ERINOH pour leur soutien financier au projet DrainAgeing, ainsi que les propriétaires et locataires du terrain du site expérimental de Roissard, l'entreprise PELISSARD et les techniciens de l'ONF et du LTHE ayant contribué aux campagnes *in situ*.

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- **BONELLI, S., ROYET, P.**, 2001, Delayed response analysis of dam monitoring data, in : *ICOLD European Symposium, Geiranger, Norway, 25-27 June 2001*.
- **CHOUCHENE, W.**, 2010, *Faisabilité d'utilisation du logiciel statistique SURVEY pour l'analyse des mesures d'auscultation des mouvements de terrain*, Rapport de stage Master Mécanique et Ingénierie, Université J. Monnet de St Etienne-Cemagref.
- **DEGOUTTE, G., FRY, J.-J.**, 2002, Les géotextiles dans les barrages : retours d'expérience, in : *Colloque technique CFGB-CFG « Géotextiles et géomembranes dans les barrages », juin 2002*.
- **FAURE, Y.-H.**, 2004, Comportement observé des filtres géotextiles dans les ouvrages de drainage, *INTEREG III/RISKYDROGEO (Risques hydro-géologiques en montagne : parades et surveillance)*, 14 p.
- **FAURE, Y.-H., FARKOUH, B., DELMAS, P., NANCEY, A.**, 1999, Analysis of geotextile filter behaviour after 21 years in Valcros dam, *Geotextiles and Geomembranes*, Elsevier, volume 17, n° 5, p. 353-370.

► Consulter l'ensemble des références
sur le site de la revue www.set-revue.fr